RECOMENDAÇÕES SOBRE COMISSIONAMENTO E INÍCIO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR AMÔNIA

Brasília, 2009

Ministério do Meio Ambiente – MMA
Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ / MMA

1ª edição – 2.000 exemplares
Publicada em setembro/2008

Ministério do Meio Ambiente

Ministro de Estado do Meio Ambiente
Carlos Minc Baumfeld

Secretária-Executiva
Izabella Mônica Vieira Teixeira

Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ
Suzana Kahn Ribeiro

Departamento de Mudanças Climáticas
Diretora: Branca Bastos Americano

Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio
Coordenadora: Magna Luduvice

Equipe da Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio
Tatiana Zanette
Euler Martins Lage
Frank Amorim
Alex Silva

Publicação
Responsável técnico: Leonilton Tomaz Cleto
Revisão técnica: Liamarcia Silva Hora
Produção gráfica: Claudia Focking
Projeto gráfico e diagramação: Link Design

Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio
Esplanada dos Ministérios Bloco B, 8º andar – Brasília/DF
Cep: 70068-900 | Telefone: (61) 3317-1934 | Fax: (61) 3317-1217

Sumário

1. Introdução

O objetivo deste Guia de Referência é de apresentar critérios mínimos de segurança recomendados para um sistema de refrigeração por Amônia a serem aplicados pelas equipes de comissionamento, operação e manutenção do sistema.

Este Guia de Referência abrange os aspectos de segurança a serem considerados, desde o período de comissionamento e “Star-Up” da instalação até as várias operações de campo, incluindo serviços de manutenção, revisões e inspeções periódicas dos vários componentes.

Este documento não tem função de norma nem substitui as obrigações necessárias requeridas por autoridades locais, estaduais ou federais quanto aos aspectos de segurança a serem cumpridos para obtenção de licenças de instalação e/ou funcionamento de um sistema de refrigeração por Amônia.

Este documento deve ser utilizado por pessoal qualificado, com conhecimento teórico e prático sobre sistemas de refrigeração por Amônia e experiência adequada em operação e manutenção dos vários componentes do sistema.

2. Códigos e normas aplicáveis

Atualmente, as boas práticas e cuidados desenvolvidos e utilizados nos sistemas existentes de refrigeração por Amônia no Brasil, baseiam-se na documentação internacional disponível.

A comissão de estudos de refrigeração industrial – CE-55:001.04, do CB-55, da ABNT, está desenvolvendo uma norma brasileira sobre segurança em sistemas de refrigeração, a **NBR 16069**. A norma está baseada no **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007** e utiliza as demais normas internacionais, como referência para discussão. A norma já está em fase final de elaboração, com o lançamento para consulta pública previsto ainda para 2009.

A seguir, os principais documentos disponíveis, relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração.

2.1 Normas brasileiras e internacionais

Normas Brasileiras:

- **NR-13 – 2008 – Caldeiras e Vasos de Pressão** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977.
- **P4.261 – Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos** – CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – 13/08/2003.
- **NBR 13598 – Vasos de Pressão para Refrigeração** – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – 04/1996.

Standards Internacionais

- **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 – Safety Code for Mechanical Refrigeration** – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- **ANSI/IIAR 2-2008 – Equipment, Design & Installation of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems** – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- **EN 378 Part 1-4 – 2008: Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements** – European Comittee for Standardisation.
  - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria

- Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation
- Part 3: Installation site and personal protection
- Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery

- **ISO 5149:1993 – Mechanical Refrigerating Systems used for Cooling and Heating – Safety Requirements** – International Organization for Standardization.
- **ANSI/ASME B31.5 – 2006 – Refrigeration Piping and Heat Transfer Components** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ANSI/IIAR Standard 3-2005**: Ammonia Refrigeration Valves.

Código ASME para Dimensionamento de Vasos de Pressão

- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section VIII – Div. 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part A – Ferrous Material Specifications** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part C –Specifications for Welding Rods Electrodes and Filler Metal**s – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section II – Materials – Part D – Properties** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section V – Nondestructive Examination** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2007 – Section IX – Welding and Brazing Qualifications** – American Society of Mechanical Engineers.

2.2 "Guidelines & Posters"

O **IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration, possui atualmente os seguintes Boletins/ Guias de Referência** relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração, entre suas publicações:

- **Bulletin R1 – 1983**: A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammmonia Refrigeration System.
- **Bulletin 107 – 1997**: Guidelines for: Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins.

- **Bulletin 108 – 1986**: Guidelines for: Water Contamination in Ammonia Refrigeration Systems.
- **Bulletin 109 – 1997**: Guidelines for: IIAR Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System.
- **Bulletin 110 – 1993**: Guidelines for: Start-Up, Inspection and Maintenance of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems.
- **Bulletin 111 – 2002**: Guidelines for: Ammonia Machinery Room Ventilation.
- **Bulletin 112 – 1998**: Guidelines for: Ammonia Machinery Room Design.
- **Bulletin 114 – 1991**: Guidelines for: Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components.
- **Bulletin 116 – 1992**: Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock.

O IIAR possui ainda uma série de "**Posters**", que podem ser utilizados como referência rápida no ambiente de trabalho, os quais já estão **disponíveis em português**, conforme a seguir:

- **Equipamento de Proteção para Sistemas de Refrigeração.**
- **Manutenção Preventiva Básica para Sistemas de Refrigeração.**
- **Primeiros Socorros ao Contato com Amônia.**
- **Instruções para Drenagem de Óleo**

O **IOR – Institute of Refrigeration**, com sede no Reino Unido, possui os seguintes documentos específicos para refrigeração por Amônia:

- **IOR Guidance Note 10 - 2005: Working with Ammonia.**
- **IOR Ammonia Guidelines – 2005.**
- **Oil Draining from Ammonia Systems**
- **IOR Ammonia Safety Code – 2002 (Norma em Revisão).**

2.3 Sites na Internet de referência

A seguir, uma lista de "sites" de referência onde é possível obter o material listado acima:

- **ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas**: www.abnt.org.br

- **CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental** – Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo: www.cetesb.sp.gov.br.
- **Ministério do Trabalho** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras
- **IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration**: www.iiar.org
- **ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers**: www.ashrae.org
- **CEN – European Comittee for Standardisation**: www.cenorm.be
- **ISO – International Organization for Standardization**: www.iso.org
- **IOR – Institute of Refrigeration**: www.ior.org.uk

3. Características da Amônia

Amônia (NH_3 – R-717), na CNTP (Condição Normal de Temperatura e Pressão) se apresenta como um gás incolor, mais leve que o ar (apenas 9 gases na atmosfera são mais leves que o ar, sendo a Amônia o quinto na lista) e possui um odor muito forte, que é facilmente perceptível, mesmo em concentrações muito pequenas no ar (desde 5 ppm).

Amônia é um gás produzido naturalmente no processo biológico e é parte importante do ciclo do nitrogênio na terra. O volume de Amônia produzido pelo homem é equivalente a apenas 3% da quantidade total presente na natureza e o volume utilizado para sistemas de refrigeração é de cerca 0.5% do total produzido pelo homem. Além disso, a Amônia é altamente solúvel em água formando uma solução conhecida como Hidróxido de Amônio, ou no Brasil, amoníaco, (NH_4OH), normalmente utilizado em limpeza doméstica.

Comercialmente a Amônia é produzida a partir da combinação de nitrogênio livre com hidrogênio a alta pressão e alta temperatura, na presença de um catalisador. O processo mais utilizado é o que utiliza o método Haber-Bosch, desenvolvido em 1913. A Amônia anidra requerida para os sistemas de refrigeração deve possuir um grau de pureza de 99.95%, com um concentração de água de 33 ppm máx.

As principais propriedades físicas da Amônia anidra são:

3.1 Propriedades gerais

Tabela 01 – Dados e Propriedades Gerais da Amônia [3]; {1}.

Fórmula molecular		**NH_3**
Nr. do Refrigerante ASHRAE Standard 34-2007		**R-717**
Nr. CAS	2200	7664-41-7
Classificação de Segurança HRAE Standard 34-2007		B2
Estado padrão		gás
Cor padrão		Incolor
Peso Molecular	kg/kmol	17.03

Fórmula molecular		NH_3
Pressão crítica	kPa	11417
Temperatura crítica	^oC	133.0
Volume crítico	m^3/kg	0.00425
Calor de Formação	kJ/kmol	- 45889
Energia Livre de Formação	kJ/kmol	- 16341
Coeficiente de Expansão Térmica (Líquido)	$m^3/^oC.kg$	1.04×10^{-5}
pH @ 21^oC	-	11.6
Velocidade do Som no Gás @ 0.0^oC	m/s	415
Velocidade do Som no Líquido	m/s	1494
Ponto de Ebulição @ 101.325 kPa	^oC	-33.3
Calor Latente @ 101.325 kPa	kJ/kg	1369.5
Ponto de Fusão	^oC	-77.7
Ponto de Ignição	^oC	651.1
Calor de Combustão	kJ/kg	18610
Energia Mínima de Ignição	MJ	66.0
Limite Inferior de Inflamabilidade	%	15-16
Limite Superior de Inflamabilidade	%	25-28

3.2 Propriedades do líquido saturado

Tabela 02 – Termo-Físicas da Amônia – Líquido Saturado {2}.

Temperatura (^oC)	**Pressão** (kPa)	**Entalpia** (kJ/kg)	**Densidade** (kg/m^3)	**Calor Espec.** (kJ/kg.K)	**Viscosidade Dinâmica** (cP)	**Condutiv. Térmica** (W/m.K)
-50.0	40.8	276.3	702.167	4.395	0.3213	0.6540
-40.0	71.7	320.3	690.102	4.428	0.2891	0.6305
-35.0	93.1	342.4	683.963	4.445	0.2742	0.6188
-33.33	101.325	357.3	681.896	4.450	0.2694	0.6150
-25.0	151.5	387.0	671.454	4.476	0.2467	0.5956
-20.0	190.1	409.4	665.074	4.492	0.2340	0.5841

-10.0	290.8	454.5	652.040	4.525	0.2105	0.5610
0.0	429.4	500.0	638.599	4.561	0.1894	0.5381
10.0	615.0	545.9	624.698	4.601	0.1704	0.5153
20.0	857.4	592.1	610.267	4.651	0.1533	0.4926
30.0	1166.9	639.0	595.223	4.712	0.1380	0.4698
35.0	1350.4	662.6	587.439	4.749	0.1309	0.4584
40.0	1554.9	686.5	579.460	4.791	0.1241	0.4470
50.0	2033.1	734.9	562.839	4.896	0.1117	0.4241

3.3 Propriedades do vapor saturado

Tabela 03 – Propriedades Termo-Físicas da Amônia – Vapor Saturado {2}.

Temperatura (°C)	**Pressão** (kPa)	**Entalpia** (kJ/kg)	**Densidade** (kg/m^3)	**Calor Espec.** (kJ/kg.K)	**Viscosidade Dinâmica** (cP)	**Condutiv. Térmica** (W/m.K)
-50.0	40.8	1691.3	0.381	2.156	0.00854	0.01671
-40.0	71.7	1707.5	0.645	2.232	0.00891	0.01773
-35.0	93.1	1715.3	0.823	2.271	0.00909	0.01826
-33.33	101.325	1717.8	0.891	2.290	0.00915	0.01844
-25.0	151.5	1729.9	1.298	2.368	0.00944	0.01938
-20.0	190.1	1736.8	1.606	2.416	0.00962	0.01998
-10.0	290.8	1749.6	2.394	2.545	0.00998	0.02127
0.0	429.4	1761.0	3.460	2.663	0.01035	0.02272
10.0	615.0	1770.8	4.870	2.813	0.01072	0.02438
20.0	857.4	1779.1	6.698	2.990	0.01111	0.02629
30.0	1166.9	1785.5	9.034	3.180	0.01153	0.02854
35.0	1350.4	1788.0	10.424	3.300	0.01174	0.02982
40.0	1554.9	1790.0	11.983	3.408	0.01197	0.03121
50.0	2033.1	1792.2	15.678	3.665	0.01244	0.03440

3.4 Impacto ao meio-ambiente

Amônia não destrói a camada de ozônio (ODP= 0) e, por ter um tempo de vida muito curto na atmosfera (máximo 15 dias), também não contribui para o efeito estufa (GWP=0).

Devido às suas excelentes propriedades termodinâmicas, a Amônia requer menos energia primária para produzir uma certa capacidade de refrigeração do que quase todos os outros refrigerantes, de forma que o efeito indireto do aquecimento global (expresso na equação do TEWI – Total Equivalent Warming Impact), que considera ainda o consumo de energia do ciclo de refrigeração, também é um dos mais baixos disponíveis.

3.5 Inflamabilidade

A Amônia é considerada um fluido inflamável, porém em uma faixa muito restrita. Os limites de inflamabilidade da Amônia na pressão atmosférica são 15-16% (Limite Inferior) e 25-28% (Limite Superior) em volume no ar, com ponto de ignição de 651ºC. Esses limites associados ao baixo calor de combustão, reduzem em muito o potencial de inflamabilidade da Amônia. Conforme o **ANSI/ASHRAE 34-2007 [5]** a Amônia é classificada como um fluido do Grupo **B2** (alta toxicidade e baixa inflamabilidade). Quando a sala de máquinas atende os requisitos de ventilação do **ANSI/ASHRAE 15-2007** e da **NBR 16069 (Seções 8.11 e 8.12)** ou do **ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2)**, esta não será classificada como área explosiva (conforme Zona 2, Grupo IIA da **NBR IEC 60079-10 [6]** ou Classe I, Grupo D, Divisão 2 do **NFPA 70-2002 [7]**)

Na faixa de concentração entre 15% e 28% podem ocorrer explosões em espaços fechados, apresentando propagação horizontal. Contudo, uma vez que a energia e a temperatura de ignição são relativamente altas, estas explosões só ocorrem em operações de corte ou solda em vasos purgados incompletamente, ou por centelhas elétricas de alta energia em locais mal ventilados.

Com a mistura Amônia–Ar dentro dos limites de flamabilidade e na temperatura de auto-ignição de 651ºC, a energia mínima para ignição é de 66.0 MJ.

Várias investigações realizadas **[3]**, **[8]** mostraram que :

- Em ambientes abertos só é possível manter Amônia em chama quando a mesma evapora muito rápido e o fogo é mantido. Quando a Amônia se encontra no estado

líquido na pressão atmosférica e a mesma está em equilíbrio com o ambiente (ex. dentro de um vaso aberto após um vazamento e já em equilíbrio com a atmosfera, ou em forma de poça), é impossível obter a ignição da mistura Amônia gás com o ar uma vez que a sua concentração está abaixo do limite inferior de flamabilidade (15-16%);

- Em ambientes fechados sem ventilação adequada é possível obter a ignição de uma mistura Amônia-ar dentro dos limites de flamabilidade através de uma faísca elétrica, ou de uma chama constante. Portanto, um ambiente fechado representa um perigo de incêndio, e neste caso, a sala deve ser projetada para uma ventilação que atenda requisitos mínimos de dispersão. O **IIAR Bulletin 111 – 2002 [9]**, trata das recomendações necessárias para um projeto adequado para ventilação de salas de máquinas em ambientes fechados;
- A razão de combustão é 50 vezes mais lenta que um gás combustível (GLP). O poder de explosividade é 1/7 comparado com a explosão do GLP;
- A influência do óleo lubrificante nos limites de flamabilidade irá depender do tipo de óleo e da concentração do óleo na Amônia. Para óleos minerais ocorre uma mínima redução no limite superior porém, reduz sensivelmente o limite inferior (LII ~12%) até uma concentração de 10% em peso de óleo na Amônia, o qual volta a subir pouca coisa para concentrações maiores. Considerando um óleo sintético com base poliol-éster a redução é significante para os dois limites, mesmo em altas concentrações de óleo (30%), porém a faixa entre os limites praticamente se mantém, como mostra a tabela abaixo:

Óleo POE (% Massa)	10.0	20.0	30.0
Amônia LII (% v/v)	12.5	9.6	8.7
Amônia LSI (% v/v)	28.0	27.0	24.9

- A presença de umidade reduz a possibilidade da ignição da Amônia no ar. O gráfico 01 mostra a influência do vapor d’água sobre a flamabilidade de misturas Amônia-ar. Os valores indicam que, a 25ºC todas as misturas com concentração de vapor d’água maior do que 8.2% não são inflamáveis. Por isso também é importante a utilização de chuveiros om aspersão de água em locais estratégicos da instalação.
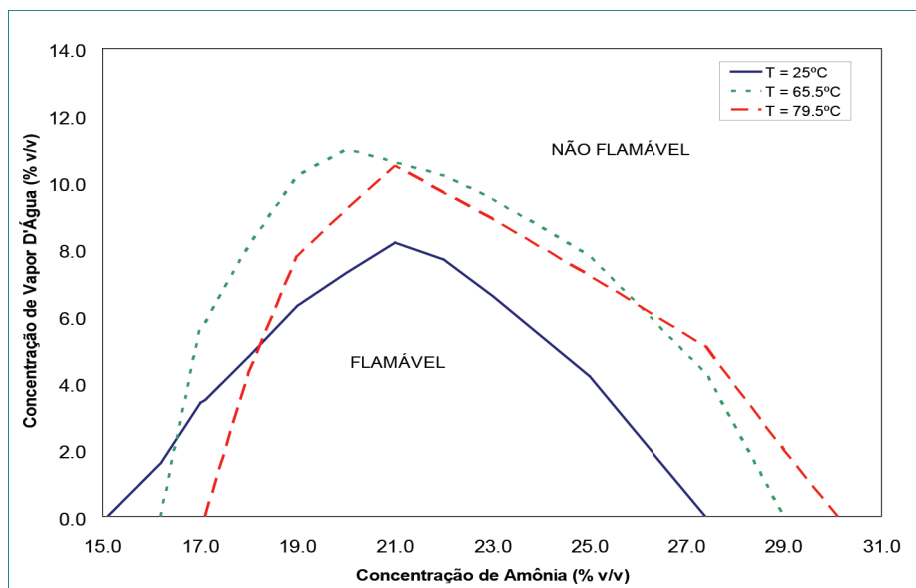
Gráfico 01 – Influência do Vapor D'Água na Flamabilidade de Misturas Amônia-Ar.

Como primeira medida num eventual combate a incêndio deve-se interromper o fluxo de gás. Água poderá ser utilizada para manter resfriadas as partes da instalação e equipamentos de estocagem, porém apenas através de jatos de mangueiras de incêndio.

A água deverá ser utilizada apenas em casos de vazamento de vapor ou para dispersão final de "poças" de Amônia no solo. Não se deve utilizar água para dispersão de vazamento de líquido nem nas áreas onde haja tanques (diques) de contenção com Amônia líquida. De acordo com o **EN 378-2007 (Part 3 – Section 5.17.2.3)** não é permitido o uso de "sprinklers" (com água) em salas de máquinas para sistemas de refrigeração por Amônia. Recomenda-se o uso de "sprinklers" ao redor da sala de máquinas, para diminuir a propagação de uma nuvem tóxica em caso de vazamento, pois em caso de vazamento de Amônia líquida, se a vazão de água não for muito grande haverá uma forte reação da água com a Amônia resultando no aumento da nuvem tóxica pela evaporação da Amônia. Neste caso, para extinção direta do fogo recomenda-se pó químico ou dióxido de carbono (CO_2).

A **NBR 16069 (item 8.12j)** estabelece ainda que em sistemas que utilizam Amônia como fluido frigorífico não se devem utilizar dispositivos de proteção contra incêndio

com chuveiros do tipo “sprinkler” com acionamento automático. Caso requerido, o controle para acionamento destes dispositivos deve ser manual remoto e localizado do lado de fora da sala de máquinas. Não se deve acionar estes dispositivos em caso de vazamento de Amônia líquida na sala de máquinas.

Os indivíduos envolvidos no combate ou nas manobras de emergência deverão ter chuveiros com ducha forte de água disponíveis.

3.6 Toxicidade

A Amônia, seja na fase gasosa ou líquida é um produto extremamente irritante. O odor agressivo provocado pela Amônia é uma característica significativa. Devido à grande facilidade em se dissolver na água, a Amônia acaba se impregnando na pele, na mucosa das narinas, na garganta e nos olhos. Isto provoca uma irritação muito forte e por reflexo condicionado os olhos se fecham e fica difícil a respiração.

Em concentrações mais altas ocorre um efeito corrosivo na mucosa das narinas provocando além da dificuldade da respiração, dor no peito, tosse e dispnéia. Em concentrações muito altas, pode provocar parada respiratória e, mesmo depois de horas da exposição, pode ocorrer endema pulmonar. Mas se logo após os sintomas desaparecem (tosse, dor no peito) isto indica que não há maiores riscos.

A **NR-15 [4]**, estabelece que o valor Limite de Tolerância de exposição de um trabalhador a um ambiente contaminado com Amônia, durante uma jornada de trabalho semanal de 48 horas, é de apenas 20 ppm em volume no ar. Os valores limites na maioria dos outros países está entre 25-35 ppm (40 horas) e um limite máximo de exposição 35-50 ppm por 15 minutos durante a jornada de trabalho. O valor estabelecido como limite de risco de vida imediato, de qualquer pessoa exposta a um ambiente com Amônia por mais de 30 minutos, é de 500 ppm.

Amônia líquida ou o gás a baixa temperatura podem causar fortes queimaduras na pele caso não haja nenhuma proteção. Também a solução aqua-Amônia pode provocar queimaduras devido ao pH alto da solução. Portanto, após uma purga de Amônia em um tanque com água, deve-se tomar muito cuidado com o esvaziamento do mesmo.

Normalmente seu odor característico e desagradável propicia amplo aviso antes que qualquer condição perigosa exista. Pode ser detectada pelo olfato humano já a partir de 10 ppm, mas os operadores de plantas acabam se acostumando com concentrações de até 100 ppm sem efeitos desagradáveis **[3]**.

O quadro a seguir apresenta as conseqüências provocadas por vazamentos em várias concentrações de Amônia no ar ambiente.

Concentração (ppm) (v/v)	Efeitos provocados no Ser humano sem proteção	Tempo de exposição
25	O odor já é percebido pela maioria das pessoas. Em temperaturas abaixo de 0^oC a partir de 5 ppm já se pode notar o cheiro.	Ilimitado
35 (OSHA) 20 (NR-15)	TLV – Threshold Limit Value*	8 horas por dia por uma semana. Para NR-15, 48 horas semanais
50 (OSHA)	O odor já chega a ser significativo. Pessoas não acostumadas reagem e saem fora da área. STEL – Short Term Exposition Limit*.	Não permaneça mais do que o necessário. O valor de tempo para o STEL é de 15 min.
100	Ainda não provoca nenhum efeito perigoso à saúde humana. Porém o odor começa a ser intolerável.	Abandone a área assim que possível.
400-700	Irritação imediata nos olhos, nas narinas e nos órgãos respiratórios.	Em situações normais, não provoca males maiores até 1 hora de exposição.
1700	Tosse, irritações sérias nas narinas, nos olhos e nos órgãos respiratórios.	1/2 hora de exposição pode provocar sérios danos à saúde.
2000-5000	Tosse, irritações sérias nas narinas, nos olhos e nos órgãos respiratórios.	Concentrações fatais. Morte em 1/2 hora.
>5000	Paralisia, sufocação.	Letal em poucos minutos.

As curvas Probit em função da concentração de Amônia, para tempos de exposição de 3, 10 e 30 minutos são mostradas a seguir:
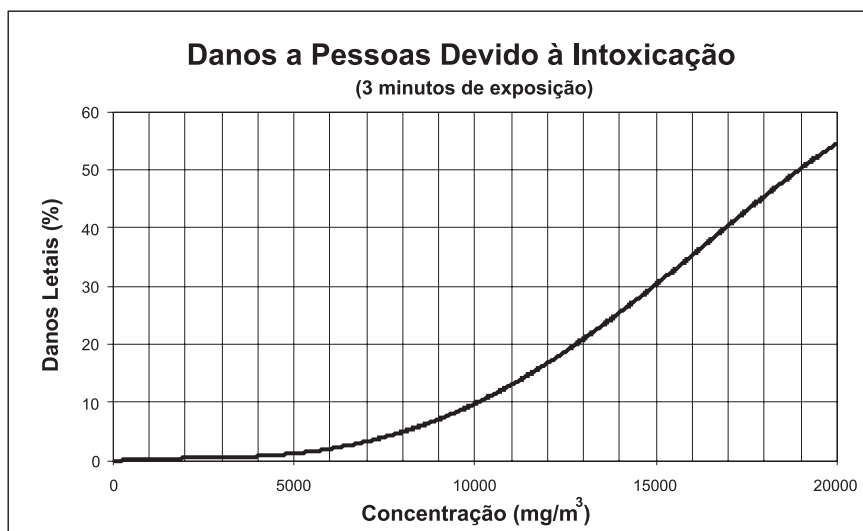
Gráfico 02 – Curva Probit de letalidade em função da concentração de Amônia para um tempo de exposição de 3 minutos.
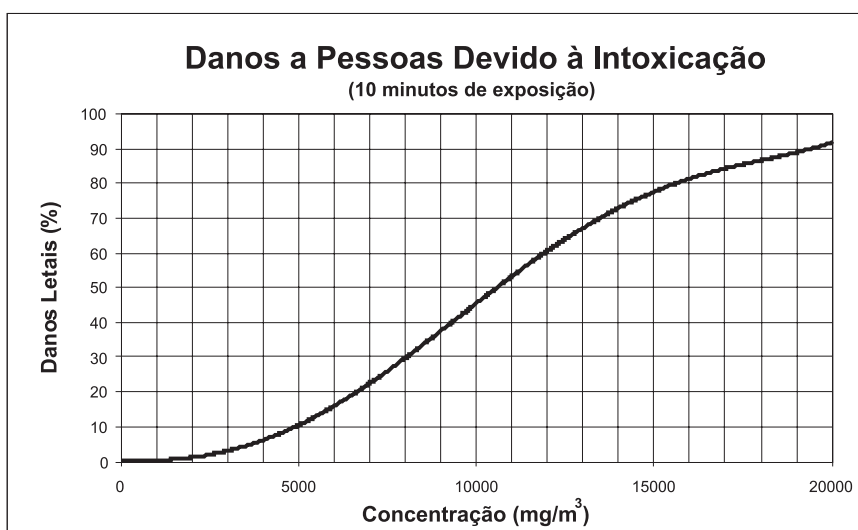
Gráfico 03 – Curva Probit de letalidade em função da concentração de Amônia para um tempo de exposição de 10 minutos.
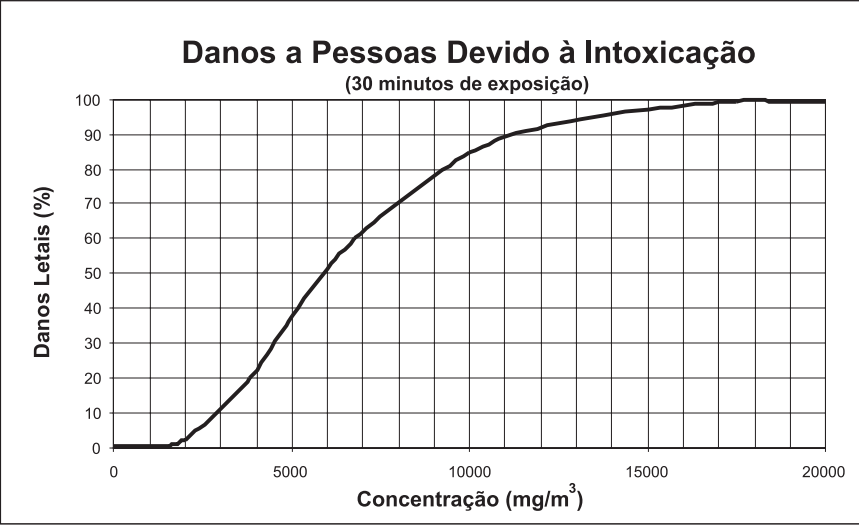
Gráfico 04 – Curva Probit de letalidade em função da concentração de Amônia para um tempo de exposição de 30 minutos.

Em termos de risco social crônico, foram estabelecidos os seguintes limites de exposição à Amônia por inalação [3]:

Parâmetro	ppm	Referência
LT	20	NR-15
TLV-TWA	35	OSHA
TLV-STEL	50	OSHA
IDLH	500 (30 min)	NIOSH

Onde:

LT: Limite de Tolerância – Para 48 horas/semana, conforme a NR-15.

TLV: Valor máximo admissível (Threshold Limit Value)

TWA: Valor médio no tempo (Time Weighted Average) para um período de 8 horas/dia ou, ao qual todos os trabalhadores podem estar repetidamente expostos, dia após dia, sem efeitos adversos.

STEL: Valor máximo para período curto de exposição (Short Term Exposure Limit) ao qual os trabalhadores podem ser expostos por um periodo de até 15 min contínuos, sem sofrer irrítação, alteração crônica ou irreversível de tecidos, ou narcose.

IDLH: Limite de exposição sem risco de vida ou danos à saúde (Immediately Dangerous to Life and Health) ao qual os trabalhadores podem ser expostos por um periodo de até 30 min contínuos sem risco de vida ou efeitos permanentes à saúde.

Os sintomas de intoxicação são os seguintes:

- Ulceração da conjuntiva e da córnea (conjuntivitis agudas), provocando a opacidade da córnea e do cristalino, podendo comprometer a visão;
- Irritação e queimaduras da pele e das mucosas do aparelho digestivo e respiratório, podendo provocar úlceras internas se não houver tratamento rápido;
- Dores de cabeça;
- Salivação excessiva, enjôo e vômitos;
- Tosse forte com sensação de afogamento;
- Bronquite e hemoptise;
- Edema pulmonar.

3.7 Reatividade

A Amônia é uma base muito forte e reage com ácidos e gases ácidos para formar sais amoniacais. O calor resultante dessa neutralização é considerável, e as reações podem se tornar violentas, requerendo meios imediatos de resfriamento.

A Amônia, em presença de água, dissolve muitos óxidos e hidróxidos metálicos, bem como muitos sais que são insolúveis em água. Reage prontamente com muitas substâncias orgânicas e inorgânicas e sua reatividade é considerada um fator principal quando se trata de estocagem e transporte.

Da reação com halogênios, hipocloritos, mercúrio, ácido nítrico, óxidos de nitrogênio e alguns compostos orgânicos podem se formar compostos instáveis e explosivos. Certos óxidos metálicos, notadamente contendo prata, mercúrio, chumbo e cádmio podem formar nitretos ou azetos, que podem explodir após secar.

O cobre e todas as suas ligas, e zinco e cádmio são prontamente atacadas pela Amônia. A Amônia, bem como diversos outros compostos nitrados causam grave corrosão sob tensão no cobre e em todas as ligas a base de cobre, que devem portanto serem evitadas para o contato com qualquer fluido contendo mesmo ínfimas quantidades de Amônia.

A Amônia anidra também pode causar corrosão sob tensão no aço-carbono, portanto, é requerido o uso de chapas de aço carbono adequadas para sistemas de refrigeração com Amônia. Em qualquer caso, a contaminação com ar, óleos, dióxido de carbono, etc, agrava sensivelmente o problema; em compensação, a adição de pequena quantidade de água inibe a corrosão sob tensão.

De acordo com o ANSI/ASME Standard B31.5 - 2006, é proibido o uso de tubos com costura em sistemas de refrigeração com Amônia, incluindo toda tubulação e serpentinas ou tubos de trocadores de calor.

O Teflon, a Buna N, o Neoprene e as Borrachas Butílicas e Nitrilicas são polímeros aceitáveis para serviços com Amônia, particularmente como vedação. Resinas de poliéster, borrachas polisulfonadas, viton, e resinas fenólicas não devem ser usadas. PVC não plastificado é aceitável, mas com temperaturas inferiores a 0ºC se torna quebradiço.

3.8 Precauções para manuseio de Amônia

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual – não substituem condições seguras de trabalho, mas certas operações podem exigir alguma proteção mínima, enquanto que situações de emergência demandarão um alto grau de proteção pessoal.

Qualquer pessoa que eventualmente tenha que usar estes equipamentos deve estar totalmente treinada e conhecer suas limitações. A seguir algumas recomendações sobre o uso de EPIs e precauções em operações de manuseio com Amônia:

- Óculos ampla-visão e luvas, de Neoprene ou borracha, são os equipamentos mínimos a serem usados por qualquer pessoa trabalhando numa planta aberta, em condições normais;
- Para as operações de drenagem de óleo, purgas, retirada de amostras, deve-¬se proteger o corpo contra respingos e projeções, botas de borracha, luvas e além

disso usar máscara panorâmica para proteção respiratória. Em alguns casos será necessário o uso de avental de PVC ou borracha clorobutílica;

- Use, sempre que for trabalhar com Amônia, máscaras com o filtro apropriado e dentro do prazo de validade;
- O local de trabalho deverá ter ventilação adequada;
- Saiba onde se encontram os sistemas de respiração autônoma e como usá-los. No caso de uma emergência, deve-se usar equipamento de respiração autônoma, que proporciona a proteção total necessária numa manobra de resgate ou controle de situações críticas;
- Ao mais leve cheiro de Amônia, coloque máscara e procure o vazamento, avisando a manutenção e interditando a área;
- Evitar que pessoas com doenças na visão e/ou pulmões transitem pela área e muito menos trabalhem neste local;
- Quando houver Amônia líquida em tubulações ou vasos, esta deverá ser totalmente evaporada antes de qualquer serviço nestes itens, deixando a área livre e demarcada durante a operação;
- O supervisor de segurança deverá autorizar os serviços de manutenção mediante uma permissão para trabalho;
- Manter quaisquer outros compostos gasosos afastados da Amônia, tais como Cloro, GLP, ácidos, etc.

3.9 Tratamento de primeiros socorros

É importante que em todos os atendimentos os socorristas estejam usando proteção respiratória adequada e removam a vítima do local para uma área livre e descontaminada mais próxima possível, e solicitem imediatamente a assistência médica e ambulância.

No caso do produto ter atingido os olhos a rapidez será vital. Os olhos devem ser lavados com solução lava-olhos ou água durante no mínimo 10 minutos. Se não houver serviços médicos disponíveis a lavagem deve continuar por mais 20 minutos.

No caso do produto ter atingido a pele, as roupas que tiverem entrado em contato com o produto devem ser removidas e as partes do corpo atingidas devem ser lavadas abundantemente.

No caso de inalação de vapores, o acidentado deve ser colocado diretamente no solo para um possível tratamento de respiração artificial e/ou massagens cardíacas. Caso a respiração esteja dificil, aplicar oxigênio com aparelho de respiração controlada. Se a vítima parou de respirar, aplicar respiração artificial. No caso de parada cardíaca, aplicar massagem cardíaca externa.

No caso de ingestão, forneça grandes quantidades de água para beber se a vítima ainda estiver consciente. Não induza o vômito.

Um tratamento sintomático e de fortalecimento geral será necessário após a fase crítica da intoxicação. As consequências de uma intoxicação com Amônia não ultrapassam normalmente mais do que 72 horas, mas as lesões oculares poderão ser permanentes. Se a exposição for severa, o paciente deverá ser mantido em observação médica por no mínimo 48 horas, uma vez que existe a possibilidade de edema pulmonar retardado.

4. “Start-up” de novas instalações [6]

Neste capítulo é apresentado um resumo dos procedimentos aplicados durante o processo de comissionamento e “Start-Up” para um sistema de refrigeração por Amônia e tem como base o **Bulletin 110 – 1993: Guidelines for Start-Up, Inspection and Maintenance of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems [10]**.

4.1 Precauções iniciais

Considera-se inicialmente que a instalação foi projetada corretamente para o propósito do seu desempenho; que toda tubulação de interligação, componentes elétricos e isolamento térmico foram corretamente instalados; que todos os dispositivos de proteção foram testados e ajustados e que estão funcionais; que todo sistema foi submetido ao teste de pressão; e que todos os elementos necessários para o “Start-Up” do sistema foram previamente providenciados.

O supervisor da instalação deve possuir todos os desenhos relevantes do sistema, incluindo o fluxograma de engenharia, os diagramas elétricos e os dados de projeto de operação do sistema, assim como as condições limites de operação.

O engenheiro designado pelo proprietário como Autoridade de Comissionamento deverá possuir toda documentação de qualificação para as atividades de “Start-Up” e deverá conduzir o processo em conjunto com o supervisor da instalação.

Antes da primeira carga de Amônia no sistema, deverá ser verificado que todos os sistemas de emergência estão funcionais, incluindo rotas de fuga e estações de lava-olhos e chuveiros e que os EPIs (equipamentos de proteção individual) necessários estão disponíveis e de fácil acesso aos profissionais envolvidos.

Todo pessoal das outras áreas da unidade (externos à instalação de refrigeração) deve ser notificado que será realizada a carga de Amônia. O acesso à área deverá ser restrito apenas ao pessoal autorizado e os que não estão envolvidos na operação devem ser mantidos fora da área de risco.

Deverá ser realizada uma inspeção visual sobre toda tubulação, interligação elétrica e condição de abertura das válvulas de bloqueio (conforme sua condição normal

de operação) para certificação de que o sistema está pronto para receber a carga de Amônia.

4.2 Comissionamento da instalação elétrica – qualificação da instalação

A ser realizado antes da primeira carga de Amônia no sistema.

Durante o comissionamento da instalação elétrica, os painéis de controle dos equipamentos deverão ser inspecionados internamente e externamente, para se garantir que todo equipamento e componente especificados foram corretamente instalados e que todos os disjuntores e fusíveis dos painéis foram dimensionados corretamente como indicados na especificação.

Antes de energizar qualquer parte do circuito elétrico da instalação, deverá ser conduzido um teste de isolamento de todos os cabos para garantir que não haverá falhas de isolamento. Recomenda-se a emissão de um certificado do teste.

Para testes dos painéis de controle, todos os fusíveis/ disjuntores dos motores dos equipamentos principais e auxiliares (incluindo motores dos compressores, bombas, ventiladores, etc.) deverão ser retirados de modo a evitar o funcionamento inesperado de algum dos equipamentos.

Com os fusíveis dos motores dos equipamentos removidos, o acoplamento (ou as correias) entre os compressores e seus motores devem ser desconectados e os equipamentos devem ser manualmente rotacionados para se constatar que os mesmos giram livremente.

Em seguida, à medida que os fusíveis são novamente instalados, os motores deverão ser testados um a um, para verificação do sentido correto da rotação. Deverá ser confirmado o valor de ajuste da proteção térmica de cada motor, tendo como base a corrente nominal do motor.

Para os motores dos compressores, em certos casos, será necessário desativar alguns intertravamentos elétricos para testar o motor. Neste caso, os intertravamentos desativados deverão ser sinalizados, para serem reativados corretamente após o teste.

Após a verificação do sentido da rotação dos motores, os cabos de alimentação dos motores deverão ser isolados e os motores serão reacoplados. Os motores serão alinhados com os equipamentos e as proteções dos acoplamentos serão reinstaladas.

Quando finalizados estes testes do circuito elétrico, todas as proteções elétricas de desligamento (dos motores) deverão ser inspecionadas para se garantir que os valores de ajuste estão de acordo com os valores requeridos nas especificações.

Finalmente, deverão ser testados os intertravamentos elétricos dos diversos elementos de controle e proteções (tais como, bóias de nível com contato elétrico, pressostatos, termostatos, sensores de fluxo, etc.) para certificação que os contatos elétricos estão atuantes sobre os motores dos respectivos equipamentos.

Todos os resultados dos testes devem ser registrados e anexados ao relatório final do comissionamento da instalação elétrica.

4.3 Teste de estanqueidade do sistema

Após a finalização da instalação e antes da aplicação do isolamento térmico, o sistema de refrigeração deve ser testado para verificação certificação da estanqueidade ou de eventuais vazamentos. Todas as partes do sistema que não foram testadas previamente (em fábrica ou no campo) deverão ser pressurizadas conforme as pressões de projeto requeridas (considerando os valores específicos para o lado de alta e o lado de baixa pressão). Todos os vazamentos detectados deverão ser reparados e o material ou as partes defeituosas deverão ser substituídas.

Não se deve utilizar Oxigênio ou qualquer gás combustível ou mistura combustível para a pressurização. Dioxido de carbono (CO2) ou fluidos halogenados (HFCs, HCFCs, CFCs) não podem ser utilizados como gases para pressurização em sistemas com Amônia. Recomenda-se a utilização de Nitrogênio seco ou ar seco como gás de pressurização para o teste de estanqueidade.

A seguir os procedimentos mínimos recomendados para o teste:

4.3.1 Preparação

Os seguintes componentes deverão ser fechados, bloqueados e/ou isolados, contra a pressurização:

- Unidades compressoras;
- Válvulas de segurança (utilizar disco de blindagem e juntas);

- Indicadores de nível (as válvulas de purga, após as válvulas de bloqueio, devem permanecer abertas);
- Controladores de nível;
- Bombas de Amônia;
- Extrator (Purgador) de ar;
- Indicadores de pressão (manômetros);
- Todo e qualquer eventual instrumento de baixa pressão e acessórios;
- Todas as válvulas solenóides deverão permanecer abertas, por meio de energia elétrica (se normalmente fechadas), ou através dos próprios dispositivos de operação manual;
- Válvulas motorizadas e/ou pneumáticas também deverão permanecer na condição abertas;
- Válvulas de retenção localizadas na descarga das unidades compressoras deverão ser desmontadas para retirar o miolo interno, a fim de permitir a passagem de pressão até as válvulas de fechamento;
- Todos os flanges pertencentes à tubulação (se houver) deverão ser revestidos na junção com uma fita adesiva e, um pequeno furo deverá ser efetuado na parte superior.

  Obs.: Deverá ser verificado, previamente, através de uma cópia do fluxograma da planta, que toda a tubulação a ser testada (soldas, conexões, ligações, flanges, juntas, etc.) será atingida pela pressão a ser introduzida; e o fluxograma, devidamente marcado por indicação em cor, deverá ser anexado ao Certificado de Teste de Pressão.

  Em caso de sistema com pressões de teste diferentes entre o lado de baixa e o lado de alta pressão, os lados deverão ser isolados e os testes deverão ser realizados em etapas distintas, considerando as respectivas pressões requeridas.

4.3.2 Precauções quanto a proteção de pessoas

Toda a área da instalação a ser pressurizada, deverá ser interditada, e somente será permitida a presença de pessoas a uma distância mínima de 10 metros do extremo da instalação, protegidas por meio de anteparos de concreto. Avisos adequados deverão ser colocados em locais estratégicos para se evitar a entrada inadvertida de pessoas.

A equipe de segurança da empresa e/ou do corpo de bombeiros da localidade (previamente acionado pela empresa) deverão garantir isolamento da área, permitindo acesso apenas à equipe de teste.

Deve-se atentar para o fato da existência constante do risco de possíveis rupturas de tubos e/ou componentes, colocando em risco a vida das pessoas nas proximidades. Portanto, todas as pessoas presentes ao teste deverão estar adequadamente protegidas.

4.3.3 Equipamentos a serem utilizados

- Compressor de ar com pressão de descarga até 6 bar g e compressor de ar com pressão de descarga até a pressão de teste, a serem instalados em locais apropriados e distantes da instalação, a fim de garantir a proteção dos operadores;

  Obs.: **Os compressores de ar deverão possuir válvula de segurança e manômetro**.
- Cilindros de Nitrogênio;
- Termômetro de mercúrio calibrado, com divisão de escala no mínimo de 0.1ºC e manômetros de alta pressão, calibrados e com divisão de escala no mínimo de 0.10 bar, a serem instalados na Sala de Máquinas, para controlar as diversas variações das condições ambientais, as quais influenciam diretamente nos resultados dos testes;

4.3.4 Procedimento

1° Estágio

a) Pressurização da instalação com ar comprimido seco e/ou Nitrogênio, até a pressão de 200 kPa g (2.0 bar g);

b) Verificação cuidadosa de todas as soldas e conexões quanto a vazamentos, por meio de solução de água e sabão;

c) Marcação dos eventuais vazamentos observados para posterior correção;

d) Elevação da pressão para 4 bar g e realizar nova verificação de vazamentos;

e) Despressurização da instalação e realização dos eventuais reparos. Não realizar nenhum reparo com o sistema pressurizado.

2° Estágio

f) Injeção de ar comprimido seco e/ou Nitrogênio até obter a pressão de teste em condição estável;

g) Manter a pressão de teste por 2 horas, com variação inferior a 1% e em seguida reduzi-la para 1050 kPa g (10.5 bar g);

h) A pressão de 1050 kPa g (com variação inferior a 1%) deverá será mantida por um período de 12 horas;

i) Todas as soldas e conexões serão novamente verificadas por meio da solução de água e sabão, antes da despressurização total da instalação;

j) Caso seja detectado algum vazamento, após despressurização do sistema, os eventuais reparos deverão ser realizados e o teste deverá ser executado novamente até que se garanta a total estanqueidade;

k) Emissão do Certificado de Teste de Estanqueidade.

4.4 Procedimento de vácuo e desidratação

Após a certificação do teste de estanqueidade, antes da aplicação do isolamento térmico e antes de realizar a carga de Amônia, o sistema deverá ser cuidadosamente evacuado para remoção de todos os gases não condensáveis e da umidade contida no interior do sistema. A evacuação pode durar de 25 a 40 horas para atingir a pressão requerida, dependendo do volume interno da instalação, do conteúdo de umidade presente no interior do sistema e da capacidade e estado da bomba de vácuo utilizada.

O nível de vácuo a ser atingido para sistemas que irão operar com Amônia é cerca de 0.66 kPa abs (5.0 mmHg). Nessa pressão o ponto de ebulição da água é de +/- 0°C.

4.4.1 Preparação

Todos os componentes que foram isolados para a execução do teste de estanqueidade, exceto os compressores e bombas de Amônia (que em vácuo permitirão a penetração de ar através dos selos mecânicos), deverão ser abertos e/ou desbloqueados:

- Bombas de Amônia (quando herméticas);
- Válvulas de segurança (retirar os discos de blindagem);

- Indicadores de nível (fechar a válvula de purga e abrir as válvulas de bloqueio);
- Controladores de nível (fechar a válvula de purga e abrir as válvulas de bloqueio);
- Extrator (Purgador) de ar;
- Indicadores de pressão (manômetros) e controladores de pressão (pressostatos);
- Todo e qualquer instrumento de baixa pressão e acessórios eventualmente isolados;
- Todas as válvulas solenóides (24 Vcd ou 120 Vca), deverão permanecer abertas, por meio de energia elétrica, ou através dos próprios dispositivos de operação manual;
- As válvulas motorizadas e/ou pneumáticas também deverão permanecer na condição aberta;
- As válvulas de retenção localizadas na descarga das unidades compressoras deverão ser remontadas.

4.4.2 Equipamentos a serem utilizados

- Bomba de vácuo de tamanho adequado (capacidade de 10 a 25 Nm^3/h);
- Manovacuômetro com escala de vácuo em kPa abs ou em mmHg (Torr) e "manifold";
- Tubo de aço carbono ou mangueira flexível com trama em aço inox apropriada, com conexões fêmeas em ambas as extremidades;
- Cilindros de Nitrogênio.

4.4.3 Procedimento

A conexão da bomba durante o processo de vácuo será feita através da válvula de carga, localizada na descarga da tubulação do recipiente de líquido, por meio de tubo ou da mangueira flexível.

Vácuo Primário

Inicia-se a evacuação e, durante o processo, a pressão poderá ser verificada no manovacuômetro, onde percebe-se que a pressão no interior da instalação (atmosférica,

aprox. 100 kPa abs ou 760 mmHg) decresce rapidamente até cerca de 3 kPa abs (~20 mmHg), ou ligeiramente abaixo. Até o presente, apenas o ar e os gases incondensáveis foram removidos. Em seguida a pressão passa a diminuir mais lentamente, pois só então água começa a evaporar. Recomenda-se verificar os pontos baixos onde pode haver enclausuramento de água e aquecer estes pontos para acelerar o processo de evaporação.

Quando a pressão atingir aproximadamente 0.7 kPa abs (5.5 mmHg), após cerca de 15 horas do início do processo, a bomba será desligada por um período de 1 hora e a pressão será verificada no manovacuômetro. Um aumento da pressão indica a evaporação da umidade que ainda se encontra no sistema. Neste caso, continuar o processo por mais 10 horas, e em seguida desligar a bomba novamente, para a verificação da estabilidade da pressão.

O processo deve continuar até que a pressão atinja o valor de 0.66 kPa abs (5.0 mmHg) e se mantenha estável. Em seguida a bomba será desligada e isolada do circuito e essas condições serão mantidas por mais 6 horas.

Quebra de vácuo

O vácuo atingido será "quebrado" por meio da injeção de Nitrogênio no sistema, até que a pressão retorne à pressão atmosférica inicial.

Vácuo secundário

A evacuação é efetuada novamente até que a pressão atinja o valor de 0.66 kPa abs (5.0 mmHg).

Carga primária de Amônia

Após o processo do vácuo secundário, a instalação estará apta para receber a primeira carga de Amônia. Inicialmente, a carga será realizada até o sistema atingir 700 kPa g (7.0 bar g). Recomenda-se ainda que durante este período o sistema seja inspecionado com detectores de Amônia. Máscaras apropriadas deverão estar disponíveis em caso de emergência.

Ao final, todos os componentes, válvulas e elementos de controle deverão ser retornados à posição normal de operação com o sistema parado.

4.5 Carga de Amônia

Em caso do uso de cilindros para a carga de Amônia, recomenda-se conectar apenas um cilindro por vez. Em caso de alimentação por mais de um cilindro, deve-se tomar o cuidado para que não haja fluxo de um cilindro para o outro através do uso de válvulas de retenção em cada conexão de alimentação de cada cilindro, de modo a impedir o fluxo para dentro dos cilindros.

A válvula de carga de Amônia para o sistema deve ser compatível com o tamanho do sistema e deve possuir uma válvula de retenção para impedir retorno de fluxo do sistema para o elemento de carga (cilindro ou caminhão tanque).

O ponto de carga e o cilindro deverão estar posicionados em área externa, em um local protegido, onde não haja risco para o restante da equipe de operação. A área deve ser isolada e um aviso deve ser colocado informando que o sistema está sendo carregado com Amônia.

Quando utilizado caminhão tanque, recomenda-se bombear Amônia para o recipiente de líquido utilizando bombas de Amônia próprias do caminhão (quando houver).

No caso de caminhão tanque, o fornecedor de Amônia deverá apresentar a seguinte documentação para liberação do abastecimento:

- Identificação da carga de Amônia, com informações do fabricante da Amônia, certificado de procedência e certificado de pureza (mínimo de 99.95%);
- Certificado de procedimento de vácuo no tanque do caminhão antes da carga de Amônia;
- Procedimento escrito das operações de abastecimento de Amônia;
- Certificado de integração do profissional para atividade de risco na área e certificado de treinamento do profissional para o procedimento de operações de abastecimento de Amônia

O fornecedor deverá ainda prover mangueira apropriada e conexão de engate rápido para o ponto de carga de Amônia da instalação. Em caso de diferença de diâmetros entre a mangueira e a conexão de carga do sistema, não poderão ser utilizadas reduções em série (montadas na hora) para a conexão. O fornecedor deverá prover um dispositivo de redução apropriado e que já seja montado na mangueira.

Antes de iniciar a operação, inspecionar a mangueira do fornecedor verificando se a mesma é adequada para a operação e se há um ponto de dreno para esvaziamento final da mangueira após a carga.

Prover água em abundância no local (mangueira com água corrente) e utilizar EPI adequado para o serviço (pelo menos botas, luvas e máscara específica).

Após instalar a mangueira que interliga o caminhão tanque com o ponto de conexão de carga de Amônia da instalação deverá ser realizado o seguinte procedimento de carga:

- Registrar o volume inicial de Amônia no recipiente de líquido;
- Abrir a válvula de conexão de carga de Amônia da instalação (100%);
- Seguir a operação conforme o procedimento escrito do fornecedor;
- Durante o procedimento, o operador de carga de Amônia deve permanecer ao lado do conjunto de válvulas do caminhão para o fechamento imediato das válvulas de carga em caso de emergência;
- Quando a carga estiver completada, fechar a válvula de conexão de carga de Amônia da instalação;
- Fechar a válvula de conexão de Amônia do caminhão-tanque;
- Drenar o resíduo de Amônia do trecho da mangueira para um tambor com água;
- Retirar a mangueira das conexões de carga de Amônia da instalação e do caminhão tanque;
- Registrar a massa da carga de Amônia injetada na instalação.

Para o cálculo da massa total injetada, além do registro da variação de volume no recipiente de líquido (e posterior cálculo de massa através da densidade da Amônia na temperatura ambiente), recomenda-se pesar cada cilindro antes e depois da carga ou pesar o caminhão tanque antes e depois da carga (quando possível).

Durante o procedimento de carga, um dos compressores (de preferência de duplo estágio e de menor capacidade), deverá estar preparado, com a devida carga de óleo e ligação elétrica, para entrar em funcionamento. Deve-se levar em conta que durante este período, o compressor estará operando fora das condições normais de operação (pressão e temperatura) para as quais o sistema foi projetado.

4.6 Testes dos dispositivos de proteção do sistema

Os testes dos dispositivos de proteção dos compressores deverão ser executados pelo profissional responsável pelo “Start-Up” dos compressores (designado pelo fabricante dos compressores). Os demais dispositivos deverão ser executados pelo profissional responsável pelo “Start-Up” do sistema (designado pelo instalador) e/ou responsáveis pelos outros equipamentos fornecidos. Os testes deverão ser conduzidos e supervisionados pelo engenheiro designado pelo cliente como Autoridade de Comissionamento.

Todos os dispositivos deverão ser verificados previamente para certificar que os valores de ajuste de campo estão de acordo com o valor de ajuste estabelecido no projeto para cada dispositivo.

4.6.1 Alta pressão de descarga

Este deverá ser o primeiro dispositivo a ser testado.

O valor de ajuste do dispositivo de proteção de alta pressão de descarga do compressor não deve ser superior a 90% do valor de ajuste de qualquer dispositivo de alívio de pressão instalado no lado de mesma pressão de operação do dispositivo de proteção do compressor.

Para o teste, a pressão de descarga de cada compressor deve ser aumentada gradativamente (através do fechamento de válvula na linha de descarga, após o ponto de tomada de pressão onde está instalado o dispositivo), até que o dispositivo de proteção atue, provocando o desligamento imediato do compressor quando a pressão atingir o valor de ajuste.

Caso a pressão de descarga ultrapasse o valor de ajuste do dispositivo de proteção, o compressor deverá ser desligado imediatamente (através de botão de emergência, ou de parada instantânea). Neste caso, o dispositivo deve ser substituído ou reparado (deverão ser verificados os elementos mecânicos e elétricos do dispositivo) e após a correção, o teste deverá ser refeito.

Em compressores com painéis de controle microprocessados, o valor de ajuste da pressão de descarga para desligamento poderá ser diminuído durante o teste para

facilitar o procedimento e evitar pressão muito elevada no sistema. Após a conclusão do teste, o valor de ajuste deverá ser corrigido para a condição estabelecida no projeto.

4.6.2 Baixa pressão de sucção

Para o teste, a pressão de sucção de cada compressor deve ser diminuída gradativamente (através do fechamento de válvula na sucção), até que o dispositivo de proteção atue, provocando o desligamento imediato do compressor quando a pressão atingir o valor de ajuste.

Caso a pressão de sucção ultrapasse o valor de ajuste do dispositivo de proteção, o compressor deverá ser desligado ou a pressão de sucção elevada (através da abertura da válvula). Neste caso, o dispositivo deve ser substituído ou reparado (deverão ser verificados os elementos mecânicos e elétricos do dispositivo) e após a correção, o teste deverá ser refeito.

4.6.3 Baixa pressão diferencial de óleo

O dispositivo de proteção da pressão diferencial de óleo do compressor, normalmente está associado a um temporizador para evitar a parada do compressor durante a partida quando a pressão diferencial de óleo é baixa. Isto deve ser levado em conta durante o procedimento de teste.

O teste do temporizador pode ser realizado em bancada específica montada no local ou através do isolamento das tomadas de pressão do dispositivo de pressão diferencial do óleo (caso hajam válvulas de bloqueio dos pontos de tomada de pressão).

O dispositivo de proteção de pressão diferencial de óleo poderá ser testado alterando-se o valor de ajuste para um valor superior ao de projeto para facilitar o procedimento. Após a conclusão do teste, o valor de ajuste deverá ser corrigido para a condição estabelecida no projeto.

4.6.4 Alta temperatura de descarga/ alta temperatura de óleo

Em compressores com painéis de controle microprocessados, recomenda-se alterar o valor de ajuste da temperatura de desligamento para um valor inferior durante o teste. Após a conclusão do teste, o valor de ajuste deverá ser corrigido para a condição estabelecida no projeto.

4.6.5 Outros dispositivos de proteção

Todos os demais dispositivos de proteção de alarme e desligamento dos compressores deverão ser testados, incluindo dispositivos para baixa temperatura e dispositivos de proteção externos, tais como controladores de nível de líquido (alarme e desligamento por nível alto ou nível baixo).

Também deverão ser testados os dispositivos de proteção dos demais equipamentos, tais como bombas de Amônia e máquinas fabricação de gelo.

Os testes deverão ser realizados conforme as recomendações do fabricante.

4.6.6 Sistemas de proteção de emergência

Também deverão ser testados os seguintes sistemas auxiliares:

- Sistema de Ventilação Normal da Sala de Máquinas;
- Sistema de Ventilação de Emergência;
- Botões de Emergência (parada instantânea de equipamentos e da instalação);
- Válvula Solenóide Principal da Linha de Líquido;
- Estações de Lava-Olhos e Chuveiros tipo Dilúvio de Emergência;
- Detectores de Amônia.

Os testes deverão ser realizados conforme as recomendações do fabricante.

4.7 Operação assistida

Após a conclusão dos testes dos dispositivos de proteção, as rotinas do “Start-Up” poderão seguir adiante com os ajustes das válvulas de controle e demais elementos de controle para a correta operação dos equipamentos e do sistema.

Durante o procedimento de “Start-Up” deverá haver um monitoramento das pressões e temperaturas de operação do sistema e constantes inspeções sobre vazamentos de Amônia. Em caso de qualquer anormalidade, o sistema deve ser parado imediatamente e as causas devem ser identificadas e corrigidas antes de retornar ao funcionamento.

Deverão ainda ser observadas as instruções e recomendações do fabricante com relação às trocas de filtros e de óleo durante o “Start-Up”, após as primeiras semanas de operação do sistema.

O “Star-Up” e Operação Assistida fazem parte da qualificação de operação do processo de comissionamento do sistema de refrigeração. A qualificação de desempenho porém, deverá ser realizada posteriormente, após todos os ajustes e quando houver carga térmica suficiente para operação completa do sistema.

Durante a Operação Assistida, a equipe técnica do “Start-Up” deverá envolver a equipe do cliente que irá assumir a operação diária do sistema. Após a qualificação da operação, com a certificação de que o sistema opera continuamente de maneira segura e isento de falhas e após o treinamento necessário, o controle e a rotina operacional do sistema pode ser transferida para a equipe de operação.

Nos períodos que os compressores estiverem parados, todas as válvulas solenóides e válvulas de bloqueio automáticas (motorizadas ou servo atuadas) devem ser inspecionadas para se garantir que operam corretamente e que não há migração de Amônia para partes do sistema com baixa pressão.

Para a qualificação de desempenho, o sistema deverá operar com carga térmica suficiente para certificação da correta funcionalidade do sistema, conforme os requisitos de projeto do cliente.

A Autoridade de Comissionamento deverá conduzir os testes, com registros continuos das pressões e temperaturas de operação dos compressores. Também deverão ser monitorados os valores de potência absorvida dos motores versus capacidade dos compressores, temperatura de condensação do sistema, níveis de líquido nos vasos

de pressão, temperaturas dos processos (no interior de câmaras frigoríficas, túneis de congelamento, resfriadores de líquido, etc.), nível e consumo de óleo. Os valores deverão ser analisados em conjunto para certificação do desempenho do sistema.

5. Critérios para operação segura

Os critérios a seguir tem como base o **Bulletin 109 – 1997: Guidelines for Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System [11]**, além das normas e “standards” internacionais de referência, onde aplicável.

5.1 Compressores

Todo compressor deverá possuir plaqueta de identificação do fabricante, com pelo menos os seguintes dados do equipamento:

- Nome do Fabricante;
- Número de Série do Compressor;
- Modelo do Compressor;
- Ano de Fabricação;
- Pressão Máxima Admissível de Trabalho (Pressão de Projeto);
- Fluido Frigorífico (Amônia – R-717);
- Rotacão Nominal de Operação do Compressor.

Todo compressor deve operar dentro dos limites de operação especificados pelo fabricante, que deverão constar no manual de operação e manutenção do equipamento. Como requisito mínimo, os seguintes limites devem ser verificados:

- Rotação do compressor;
- Relação de compressão (razão entre a pressão de descarga e a pressão de sucção);
- Pressão de Descarga de Projeto do Compressor – Máxima Pressão de Descarga Admissível;
- Pressão de Projeto do Sistema de Refrigeração – Máxima Pressão Admissível de Trabalho do Sistema;
- Se o compressor é próprio para operar com Amônia.

O motor do compressor deverá estar de acordo com os requisitos de projeto e normas aplicáveis e deverá estar comissionado para operação. Todas as interligações elétricas deverão ser previamente verificadas e aprovadas.

Todo compressor de deslocamento positivo deve ser equipado com um dispositivo de alívio de pressão (interno ou externo), dimensionado de maneira adequada, com pressão de ajuste de modo a evitar ruptura do compressor (conforme o **ANSI/ASHRAE 15-2007** e a **NBR 16069 – Seção 9.8**). Caso a descarga do dispositivo de alívio de pressão for direto para a atmosfera, deverá ser através de uma tubulação adequada, dimensionada conforme o **Anexo A** da **NBR 16069**, o **Appendix H** do **ANSI/ASHRAE 15-2007** ou a **Section 11.3** do **ANSI/IIAR 2-2008**.

Todo compressor deve ser equipado com válvulas de bloqueio na linha de sucção e na linha de descarga, além de válvula de retenção na linha de descarga.

Todo compressor deve ser equipado no mínimo com as seguintes proteções através de controles de segurança:

- Desligamento por Baixa Pressão de Sucção;
- Desligamento por Alta Pressão de Descarga;
- Desligamento por Baixa Pressão de Óleo (caso o compressor utilize lubrificação forçada).

Todo compressor deverá ser inspecionado em caso de qualquer sinal de alteração, modificação ou reparo que possa afetar a integridade da carcaça do compressor.

Caso a carcaça do compressor estiver alterada, modificada ou reparada, esta deverá ser novamente submetida a um teste de pressão pelo fabricante ou por empresa de certificação de modo a requalificar o equipamento para a operação no sistema. Todos os documentos de requalificação e resultados dos testes deverão ser mantidos nos arquivos referentes ao equipamento.

Todo compressor deve ser equipado com no mínimo os seguintes dispositivos indicadores acessíveis ao operador:

- Pressão de Sucção;
- Pressão de Descarga;
- Pressão de Óleo (caso o compressor utilize lubrificação forçada).
- Temperatura de Descarga;

Todo compressor, quando em operação, deve ser inspecionado e verificado quanto a vibrações excessivas, condições de fixação da base (aperto dos parafusos de fixação), limpeza e outras condições que possam afetar a segurança operacional do equipamento.

5.2 Condensadores evaporativos

Todos os condensadores evaporativos deverão estar adequadamente ancorados e suportados.

Para os serviços de revisão e manutenção nos condensadores evaporativos, o acesso deverá ser tal que não coloque em risco a equipe de manutenção.

Qualquer vibração excessiva de ventilador e/ou motor deverá ser corrigida.

Todo condensador evaporativo deve ser inspecionado completamente quanto à corrosão periodicamente.

A serpentina, o eliminador de gotas e a bacia de todo condensador evaporativo devem ser verificados periodicamente quanto ao acúmulo de depósitos sólidos (incrustação) e/ou sujeira.

Todo condensador evaporativo deve ser periodicamente inspecionado quanto à eficácia do sistema de distribuição de água e dos eliminadores de gotas.

5.3 Vasos de pressão e trocadores de calor

Todos os vasos de pressão e trocadores de calor deverão possuir suas respectivas plaquetas de identificação conforme os requisitos da **NR-13** e do **ASME Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1**.

Os vasos de pressão e trocadores de calor, assim como a tubulação de interligação, deverão operar dentro dos limites de pressão e temperatura como especificados nas respectivas plaquetas de identificação.

Todo vaso de pressão deve possuir conexão específica para instalação de dispositivo de alívio de pressão, conforme definido pela **NR-13** e dimensionado conforme **Seção 9.7** e **Anexo A** da **NBR 16069** ou **Appendix H** do **ANSI/ASHRAE 15-2007**.

Os trocadores de calor caracterizados como vasos de pressão deverão igualmente possuir dispositivos de de alívio de pressão no lado do fluido frigorífico, conforme definido pela NR-13 e dimensionado conforme a **NBR 16069 (Seção 9.7 e Anexo A)** ou o **ANSI/ASHRAE 15-2007 (Section 9.7 e Appendix H)**. Caso o trocador de calor possua fluido frigorífico líquido (sem mudança de fase) circulando em um dos lados e que possa ser isolado do restante do circuito de refrigeração através de válvulas de bloqueio na entrada e na saída do trocador, então deverá ser instalado (entre as válvulas) um dispositivo de alívio de pressão para proteger o equipamento de pressão hidrostática excessiva, conforme o **ANSI/ASHRAE 15-2007** e a **NBR 16069 (Item 9.7.2)** ou **ANSI/IIAR 2-2008 (Section 11.4 e Appendix G)**.

As plaquetas de identificação deverão ser em AISI 304 e em caso de componentes com isolamento térmico, não devem ficar encobertas pelo isolamento. Caso alguma plaqueta de identificação esteja encoberta pelo isolamento térmico (ou por pintura), este deve ser removido e reparado de modo que a plaqueta esteja sempre acessível à verificação.

Caso o trocador de calor ou vaso de pressão apresente sinais de corrosão além da corrosão superficial, o equipamento deverá ser inspecionado quanto à diminuição de espessura de chapa devido à corrosão, por profissional qualificado, conforme requerido pela **NR-13**.

Qualquer alteração física em vasos de pressão e trocadores de calor deverá ser documentada no prontuário do equipamento, conforme requerido pela **NR-13**. Neste caso deverá ser ainda realizado novo teste de pressão do equipamento, assim como os demais ensaios requeridos aplicáveis.

5.4 Evaporadores – forçadores de ar

Todos os evaporadores deverão estar adequadamente ancorados e suportados.

Todo evaporador deve ser instalado em local onde não seja exposto a possíveis avarias devido a choques de veículos em trânsito (ex. empilhadeiras).

Todo evaporador deverá possuir plaqueta de identificação do fabricante, com pelo menos os seguintes dados do equipamento:

- Nome do Fabricante;
- Modelo do Compressor;

- Ano de Fabricação;
- Pressão Máxima Admissível de Trabalho (Pressão de Projeto do Compressor);
- Fluido Frigorífico (Amônia – R-717);
- Capacidade de Resfriamento de Projeto;
- Temperatura de Evaporação de Projeto;
- Área de Transferência de Calor.

Todo evaporador e respectiva tubulação de interligação devem ser mantidos livres de acúmulo excessivo de gelo, formado durante a operação, quando em operação em baixa temperatura.

Para os serviços de revisão e manutenção nos evaporadores, o acesso deverá ser tal que não coloque em risco a equipe de manutenção.

Qualquer vibração excessiva de ventilador e/ou motor deverá ser corrigida.

Todo evaporador deve ser periodicamente e rigorosamente inspecionado quanto à corrosão.

5.5 Bombas de refrigerante

Toda bomba de Amônia deverá possuir plaqueta de identificação do fabricante, com pelo menos os seguintes dados do equipamento:

- Nome do Fabricante;
- Número de Série da Bomba;
- Modelo da Bomba;
- Ano de Fabricação;
- Pressão Máxima Admissível de Trabalho (Pressão de Projeto);
- Fluido Frigorífico (Amônia – R-717);
- Rotacão Nominal de Operação da Bomba.

Bombas de refrigerante líquido deverão ser adequadas para as condições de operação do sistema e apropriadas para operar com Amônia.

Toda bomba de Amônia deverá ser instalada com válvulas de bloqueio na sucção e recalque e válvula de retenção no recalque.

Como elemento de proteção contra pressão excessiva na bomba de Amônia e na respectiva tubulação, deverá ser instalado um dispositivo de alívio hidrostático ou de pressão diferencial ou ainda, uma tubulação auxiliar de alívio (para um vaso de menor pressão, por exemplo) que não possa ser bloqueada.

5.6 Indicadores de nível de líquido em vidro

Todos os indicadores de nível de líquido utilizados para visualização do nível de fluido frigorífico em trocadores de calor e vasos de pressão deverão ser instalados em locais onde não sejam expostos a possíveis avarias devido a choques de veículos em trânsito (ex. empilhadeiras, caminhões).

Os indicadores de nível de líquido deverão possuir corpo blindado e vidros anti-reflexivos, conforme a **NBR 16069 (Item 9.11.2)** e o **EN 378-2 2000 (Item 6.2.7.3)**, com válvulas de bloqueio, com sistema interno de retenção de vazamento em caso de ruptura do vidro. Indicadores de nível do tipo tubo de vidro não devem ser utilizados.

Os indicadores de nível deverão ser adequados à faixa de variação de nível de líquido para todas as condições de operação dos seus respectivos equipamentos (desde abaixo do nível mínimo e até acima do nível de alarme máximo).

5.7 Tubulação

A tubulação de Amônia e seus acessórios deverão ser instalados conforme requerido no **ANSI/IIAR 2-2008 – Section 10**.

Todos os elementos de aperto (ex.: parafusos e porcas de flanges e tampas) sujeitos a pressão deverão ser periodicamente inspecionados quanto ao torque de aperto adequado. Todos reparos em juntas deverão ser anotados no livro de registros de manutenção e reparos (ver seção 5.10).

Todo encaminhamento da tubulação em uma determinada instalação deverá ser inspecionado periodicamente para certificação de que não hajam trechos expostos a possíveis avarias devido a choques de veículos em trânsito (ex. empilhadeiras, caminhões).

Todas tubulação não isolada deve ser inspecionada periodicamente quanto a sinais de corrosão. Caso haja corrosão, o trecho de tubo deverá ser limpo até a superfície

do metal de modo a se eliminar toda corrosão. Em seguida o tubo deve ser novamente pintado com pintura adequada, com revestimento anti-corrosivo. Caso a corrosão seja intensa, o trecho de tubo deve ser substituído.

Em toda tubulação com isolamento térmico que apresente sinais de falha na barreira de vapor, o isolamento térmico deverá ser removido para inspeção da tubulação. O tratamento deve ser o mesmo do parágrafo anterior.

Toda tubulação de Amônia deve ser marcada e sinalizada de maneira apropriada para indicar a utilidade (ou aplicação) de determinado trecho de tubulação, e setas indicadoras do sentido de fluxo. Como sugestão, recomenda-se o **IIAR Bulletin 114 – 1991: Guidelines for Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components**.

5.8 Sistema de ventilação da sala de máquinas

O sistema de ventilação da sala de máquinas deve ser conforme requerido no **ANSI/ASHRAE 15-2007** e na **NBR 16069 (Seções 8.11 e 8.12)** ou no **ANSI/IIAR 2-2008 (Section 13.2)**.

O Guia de Referência Gr-01 – **Recomendações de Projeto para Operação Segura de Sistemas de Refrigeração por Amônia**, pode ser utilizado como referência.

5.9 Dispositivos de alívio de pressão

Todo vaso de pressão (incluindo os vasos principais, trocadores de calor, vasos acumuladores para dreno de óleo, e demais vasos auxiliares do sistema de Amônia) deverá ter instalado pelo menos uma válvula de alívio de pressão (simples ou dupla) ou outro dispositivo de alívio de pressão aplicável, conforme requerido na **NR-13**, no **ANSI/ASHRAE 15-2007** e na **NBR 16069 (Seção 9.7)**.

Não poderá haver nenhuma válvula de bloqueio instalada entre a válvula de alívio de pressão e a(s) parte(s) do sistema por ela protegida, exceto quando houver uma válvula de alívio de pressão dupla e uma válvula de 3-Vias em "manifold" de forma tal que uma das válvulas esteja sempre conectada à parte protegida, conforme requerido na **NR-13**, no **ANSI/ASHRAE 15-2007** e na **NBR 16069 (Seção 9.7)**. A válvula de 3-Vias

deve ser mantida na condição de totalmente aberta como procedimento normal de operação.

Toda válvula de alívio de pressão deve ser ajustada de forma tal que a pressão inicial de abertura da válvula não ultrapasse a pressão de projeto da(s) parte(s) por ela protegida, conforme requerido na **NR-13**, no **ANSI/ASHRAE 15-2007** e na **NBR 16069 (Seção 9.7)**.

Toda válvula de alívio de pressão deve ser ajustada e lacrada pelo fabricante da válvula e marcada com uma plaqueta de identificação, conforme requerido na **NR-13**, no **ANSI/ASHRAE 15-2007** e na **NBR 16069 (Seção 9.7)**.

Os dispositivos de alívio de pressão deverão ser conectadas às respectivas linhas de descarga, conforme o **ANSI/ASHRAE 15-2007 (Appendix H)**, a **NBR 16069 (Anexo A)** ou a **Sec. 11.3** do **ANSI/IIAR 2-2008**, tendo em conta o dimensionamento adequado das linhas, a suportação das linhas e o local adequado para a descarga na atmosfera.

Nenhuma válvula de alívio de pressão deverá ser instalada em ambientes refrigerados a menos que as devidas precauções sejam tomadas a fim de evitar a a migração de umidade para dentro do corpo da válvula ou da linha de descarga.

As válvulas de alívio de pressão deverão ser recalibradas ou substituídas periodicamente, conforme requerido na **NR-13**, quando da ocasião do **Exame Interno** do Vaso de Pressão (intervalo váriável em função das características do vaso e das condições de operação).

5.10 Requisitos gerais de segurança

Todos os instrumentos deverão ser apropriados para operar com Amônia, com fundo de escala, precisão e resolução adequados à faixa de operação do local ou equipamento onde estiverem instalados. Os mesmos deverão ser recalibrados ou susbtituídos periodicamente. Instrumentos fora de escala, descalibrados ou inoperantes deverão ser substituídos.

Acumuladores de sucção, separadores de líquido, resfriadores intermediários deverão ser equipados com proteção contra nível alto de Amônia líquida, que deve emitir um alarme de nível alto e, quando prático, deve atuar no desligamento parcial ou total dos respectivos compressores a fim de se evitar arraste de líquido para os compressores.

As válvulas de bloqueio principais do sistema; as válvulas de bloqueio das linhas de degelo por gás quente e as válvulas de bloqueio principais das bombas de Amônia devem ser claramente identificadas, com sinais proeminentes de identificação e de fácil acesso.

Formação de gelo (externa) pode ser perigosa à tubulação de Amônia ou a outros componentes do sistema. Esta deve ser removida e as condições que a causaram devem ser corrigidas.

Ruídos anormais e/ou vibrações de tubulação, ventiladores, bombas, pressostatos de proteção das bombas e efeito de “surge” na tubulação devem ser investigados e corrigidos/ eliminados.

Uma estação de lava olhos e chuveiro do tipo dilúvio deve ser localizada na area externa mais proxima de cada porta de saída da sala de maquinas. Uma estação adicional deve ser instalada dentro da sala de maquinas, com fácil acesso.

Nunca se deve manter um cilindro de carga de Amônia conectado (mesmo que temporariamente) ao sistema, a não ser quando houver operação especifica de carga de Amônia e esta conduzida por pessoal qualificado, conforme requerido na **Section 15.2** do **ANSI/IIAR 2-2008**.

5.11 Registros e documentação

Todos os principais registros e documentação relevante do sistema devem ser mantidos pelo usuário em lugar seguro e disponíveis para verificação de detalhes relativos ao projeto, instalação, manutenção e operação do sistema.

A documentação de projeto de um sistema de refrigeração deve incluir pelo menos os seguintes documentos atualizados:

- Fluxograma de engenharia da instalação;
- Descritivo operacional do sistema de refrigeração;
- Folhas de dados de operação nas condições de projeto dos principais componentes (compressores, condensadores, evaporadores, separadores de líquido, recipientes de líquido, resfriadores intermediários, economisers, bombas de Amônia, etc.);
- Manuais de operação e manutenção dos principais componentes e elementos de controle;

- Esquemas elétricos dos equipamentos e da instalação;
- Fluxograma do circuito de distribuição de ar do sistema de ventilação;
- Fluxograma e "layout" do sistema de detecção de vazamento de Amônia;
- Prontuário dos vasos de pressão, conforme requerido pela **NR-13**;
- Descritivo das lógicas do sistema de automação (quando aplicável);
- "Data-Book" do Sistema e principais componentes incluindo os relatórios dos testes de pressão e dos demais resultados dos testes realizados durante o comissionamento do sistema, até o "Start-Up".

Deverá ser utilizado um livro de registros de manutenção e reparos realizados no sistema de refrigeração com o registro de todas as ocorrências.

Deverá haver um registro de dados da quantidade de Amônia adicionada ao sistema e da quantidade de óleo lubrificante adicionado e removido em cada compressor do sistema.

Recomenda-se que sempre estejam disponíveis as seguintes informações sobre o sistema de refrigeração:

- Nome e endereço para contato do instalador e/ou principais fornecedores;
- Inventário atual de Amônia no sistema;
- Tipo e marca do óleo lubrificante e a carga atual;
- Registros dos testes de pressão aplicados ao sistema e aos equipamentos.

Recomenda-se ainda a utilização de quadros com instruções de emergência e com os telefones para contato com a equipe de brigada de emergência, corpo de bombeiros local, polícia e hospitais locais.

Deverá ser elaborado um plano de evacuação apropriado, com rotas de fuga claramente identificadas e pessoas responsáveis para a ativação do plano.

5.12 Frequência das inspeções de segurança

Toda instalação deveria ter um elemento representante, designado pelo proprietário, responsável por assegurar o cumprimento de todos os requisitos de segurança do sistema de refrigeração.

Recomenda-se que o proprietário estabeleça um plano anual de verificação de todos os requisitos de segurança e que a cada cinco anos seja conduzido um processo

de inspeção e recomissionamento de todo sistema por um engenheiro competente, com experiência em sistemas de refrigeração.

6. Literatura de referência/ softwares utilizados

6.1 Referências – literatura

[1] **ASHRAE Handbook of Fundamentals** – American Society of Heating Air Conditioning and Refrigerating Engineers – Ed. 2005

[2] **ASHRAE Handbook of Refrigeration** – American Society of Heating Air Conditioning and Refrigerating Engineers – Ed. 2006

[3] **IIAR – Ammonia Data Book** – International Institute of Ammonia Refrigeration – Ed. 1993 Rev. 1997.

[4] **NR-15 – 2008** – Atividades e Operações Insalubres – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho - Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977.

[5] **ANSI/ASHRAE Standard 34-2007** – Designation and Safety Classification of Refrigerants – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

[6] **ABNT NBR IEC 60079-10** – Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas – Parte 10: Classificação de Áreas – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[7] **NFPA 70-2002** – National Electrical Code®, National Fire Protection Association.

[8] **AIChE-CCPS** – Guidelines for Engineering Design for Process Safety – American Institute of Chemical Engineers – Center for Chemical Process Safety – Ed. 1993.

[9] **IIAR Bulletin 111 – 2002**: Guidelines for: Ammonia Machinery Room Ventilation – International Institute of Ammonia Refrigeration.

[10] **Bulletin 110 – 1993**: Guidelines for: Start-Up, Inspection and Maintenance of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems.

[11] **Bulletin 109 – 1997**: Guidelines for: IIAR Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System.

6.2 Referências – softwares

{1} **CoolPack** – Ver.1.46 – Simulation Tools for Refrigeration – Dept. of Mechanical Engineering – Technical University of Denmark – Ed. 2001.

{2} **REFRIG** – Ver.18.01 – Refrigerant Properties - International Technical Computing – York Group – Ed. 2008.

7. Folhas de relatório de inspeção ("checklists")

Anexo, tabelas de "Checklist" de Inspeção de vários equipamentos e componentes de uma instalação de refrigeração por Amônia tendo como base as tabelas do **Bulletin 109 – 1997: Guidelines for Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System [11]**.

Checklist de inspeção			**Compressor**
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Dados de projeto:			
Capacidade frigorífica (kW):		Rotação (rpm):	
Pressão de sucção (bar g):		Pressão de descarga (bar g):	
Temperatura de evaporação (°C):		Temperatura de condensação (°C):	
Dados de placa do compressor:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Fluido refrigerante:		Max. rotação (rpm):	
Max. pressão de trabalho (bar g):		Desl. volumétrico (m^3/h):	
Dados de placa do motor elétrico:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Potência nominal (kW (cv)):		Rotação (rpm):	
Tensão (V):	Corrente (A):		Ip/In:
Carcaça:		Isolamento:	
Set-point dos limites de operação:			
Min. pressão sucção (bar g):		Max. pressão descarga (bar g):	
Min. pressão dif. óleo (bar):		Max. pressão dif. óleo (bar):	
Max. temp. óleo (°C):		Max. temp. descarga (°C):	
Pressão de abertura da válvula de segurança (bar g):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
		Data da Revisão:	

Inspeção de campo:		
Aparência visual aceitável?	**(S)im / (N)ão**	**Observações/recomendações:**
Pintura		
Sensores de pressão/temperatura		
Painel de controle		
Plaqueta de identificação		
Proteção do acoplamento		
Instalação elétrica		
Fixação na base de concreto		
Nível de vibração		
Nível de ruído		
Set-points das proteções conforme projeto?	**(S)im / (N)ão**	**Observações/recomendações:**
Baixa pressão de sucção		
Alta pressão de descarga		
Baixa pressão de óleo		
Alta temperatura de descarga		
Alta temperatura do óleo		
Sobrecarga de corrente		

Checklist de inspeção			Recipiente de líquido
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Dados de projeto:			
Volume total (L):		Volume máx. operação (L):	
Pressão de projeto (bar g):		Pressão de operação (bar g):	
Temperatura de projeto (°C):		Temperatura de operação (°C):	
Dados de placa:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Fluido refrigerante:		Código de projeto:	
Max. pressão de trabalho (bar g):		Pressão de teste:	
Categoria (conf. NR-13 anexo IV):			
Dados do dispositivo de segurança (válvula de segurança):			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Pressão de abertura (bar g):		Vazão de projeto (kg/s):	
Data da última certificação (a cada 5 anos):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
			Data da revisão:

Inspeção de campo:		
Aparência visual aceitável?	**(S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações:**
Pintura		
Termômetros/manômetros		
Pressostatos/termostatos		
Válvulas de bloqueio		
Válvula de segurança		
Indicador de nível		
Plaqueta de identificação		
Fixação na base de concreto		
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio	**Aprovado? S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações:**
Entrada de líquido		
Saída de líquido		
Linha de equalização – descarga		
Linha de gás quente		
Dreno – bloqueio manual		
Dreno – fecho rápido		
Bloqueio do indicador de nível		
Bloqueio do manômetro		

Checklist de inspeção			Acumulador de sucção
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Dados de projeto:			
Volume total (L):		Volume máx. operação (L):	
Nível de operação (mm):		Nível máximo (mm):	Nível mínimo (mm):
Pressão de projeto (bar g):		Pressão de operação (bar g):	
Temperatura de projeto (°C):		Temperatura de operação (°C):	
Dados de placa:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Fluido refrigerante:		Código de projeto:	
Max. pressão de trabalho (bar g):		Pressão de teste:	
Categoria (conf. NR-13 anexo IV):			
Dados do Dispositivo de Segurança (Válvula de Segurança):			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Pressão de abertura (bar g):		Vazão de projeto (kg/s):	
Data da última certificação (a cada 5 anos):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
			Data da revisão:
Inspeção de campo:			
Aparência visual aceitável?	**(S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**	
Pintura			
Isolamento térmico			
Termômetros/manômetros			
Válvulas de bloqueio			
Válvula de segurança			
Controladores/proteções de nível			
Indicador de nível			
Plaqueta de identificação			
Fixação na base de concreto			
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio	**Aprovado? (S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**	
Entrada de vapor			
Saída de vapor			
Entrada de gás quente			
Dreno de óleo – bloqueio manual			
Dreno de óleo – fecho rápido			
Bloqueio do controlador de nível			
Bloqueio do manômetro			

Checklist de inspeção			**Separador de líquido**
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Dados de projeto:			
Volume total (L):		Volume máx. operação (L):	
Nível de operação (mm):		Nível máximo (mm):	Nível mínimo (mm):
Pressão de projeto (bar g):		Pressão de operação (bar g):	
Temperatura de projeto (^{o}C):		Temperatura de operação (^{o}C):	
Dados de placa:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Fluido refrigerante:		Código de projeto:	
Max. pressão de trabalho (bar g):		Pressão de teste:	
Categoria (conf. NR-13 anexo IV):			
Dados do dispositivo de segurança (válvula de segurança)			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Pressão de abertura (bar g):		Vazão de projeto (kg/s):	
Data da última certificação (a cada 5 anos):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
		Data da revisão:	

Inspeção de campo:		
Aparência visual aceitável?	**(S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**
Pintura		
Isolamento térmico		
Termômetros/manômetros		
Controladores/proteções de nível		
Válvulas de bloqueio		
Válvula de segurança		
Indicador de nível		
Plaqueta de identificação		
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio	**Aprovado? (S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**
Injeção de líquido		
Injeção de líquido – manual		
Saída de vapor		
Dreno de óleo – bloqueio manual		
Dreno de óleo – fecho rápido		
Bloqueio do indicador de nível		
Bloqueio do controlador de nível		
Bloqueio do manômetro		

Checklist de inspeção			**Condensador evaporativo**
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Dados de projeto:			
Capacidade (kW):		Temperatura de condensação (^{o}C):	
Pressão de projeto (bar g):		Pressão de operação (bar g):	
Temperatura de bulbo úmido (^{o}C):			
Dados de placa:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Fluido refrigerante:		Código de projeto:	
Max. pressão de trabalho (bar g):		Pressão de teste:	
Dados de placa do motor do ventilador:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Potência nominal (kW (cv)):		Rotação (rpm):	
Tensão (V):	Corrente (A):	Ip/In:	
Carcaça:		Isolamento:	
Dados de placa do motor da bomba:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Potência nominal (cv):		Rotação (rpm):	
Tensão (V):	Corrente (A):	Ip/In:	
Carcaça:		Isolamento:	
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
			Data da Revisão:
Inspeção de campo:			
Aparência visual aceitável?		**(S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**
Pintura			
Válvulas de bloqueio			
Serpentina (incrustação/corrosão			
Ventiladores			
Bomba de água			
Fixação na base de concreto			
Plaqueta de identificação			
Nível de ruído/vibração			
Distribuidor de água opera eficaz?			
Sistema de tratamento é adequado?			
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio:		**Aprovado? (S)im/(N)ão**	**Observações/recomendações**
Entrada de vapor da descarga			
Saída de líquido			

<table>
<tr><td colspan="7">Checklist de inspeção</td><td colspan="2">Tubulação</td></tr>
<tr><td>Data:</td><td colspan="3">Hora:</td><td colspan="3">Inspetor:</td><td colspan="2">TAG:</td></tr>
<tr><td colspan="9">Descrição do trecho:</td></tr>
<tr><td colspan="9">Dados de projeto:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Diâmetro nominal :</td><td colspan="5">Sch:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Diâmetro externo (mm):</td><td colspan="5">Espessura (mm):</td></tr>
<tr><td colspan="4">Tipo de isolamento:</td><td colspan="5">Espessura do isolamento (mm):</td></tr>
<tr><td colspan="4">Temperatura de operação (°C):</td><td colspan="5">Pressão de operação (bar g):</td></tr>
<tr><td colspan="2">Estado da Amônia:</td><td>Vapor</td><td></td><td colspan="2">Líquido</td><td></td><td>Bi-fásico</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="9">Serviços realizados na última revisão/manutenção:</td></tr>
<tr><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td><td colspan="4">Data da revisão:</td></tr>
<tr><td colspan="9">Inspeção de campo:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Aparência visual aceitável?</td><td>(S)im/(N)ão</td><td colspan="4">Observações/recomendações</td></tr>
<tr><td colspan="4">Pintura</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Isolamento</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Solda</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Está adequadamente suportada?</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ocorre formação anormal da gelo?</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Ocorre formação de umidade?</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="4">Outros:</td><td></td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Checklist de inspeção						Válvula solenóide	
Data:	Hora:		Inspetor:			TAG:	
Localização da válvula:							
Dados de projeto:							
Capacidade (kW):			Vazão em massa (kg/s):				
Temperatura de operação (°C):			Pressão de operação (bar g):				
Diferencial de pressão (bar):							
Estado da Amônia:	Vapor:		Líquido:			Bi-fásico	
Aplicação:	Injeção de líquido:		Bloqueio:			Injeção de gás quente	
Características:							
Fabricante/modelo:			Ano de fabricação:				
Diâmetro nominal:			Max. pressão de trabalho (bar g):				
Fluido refrigerante:			Tensão da bobina (V):				
Serviços realizados na última revisão/manutenção:							
					Data da revisão:		
Inspeção de campo:							
			(S)im/(N)ão		**Observações/recomendações**		
Aparência visual aceitável?							
A bobina atua corretamente?							
A válvula foi aberta p/ inspeção?							
O orifício estava desobstruído?							
Ocorre formação de gelo?							
Ocorre formação de umidade?							
Outros:							

Checklist de inspeção			Válvula reguladora de pressão
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Localização da válvula:			
Dados de projeto:			
Capacidade (kW):		Vazão em massa (kg/s):	
Temperatura de operação (°C):		Pressão de operação (bar g):	
Diferencial de pressão (bar):			
Estado da Amônia:	Vapor:	Líquido:	Bi-fásico
Características:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Diâmetro nominal:		Max. pressão de trabalho (bar g):	
Fluido refrigerante:		Tensão (V):	
Dispositivos auxiliares (solenóides, controles de pressão/temperatura, etc.):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
			Data da revisão:

Inspeção de campo:		
	(S)im/(N)ão	**Observações/recomendações**
Aparência visual aceitável?		
A bobina atua corretamente?		
A válvula foi aberta p/ inspeção?		
O orifício estava desobstruído?		
Ocorre formação anormal de gelo?		
Manômetros estão operantes?		
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio foi aprovado?		
Outros:		

Checklist de inspeção			**Válvula de expansão**
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Localização da válvula:			
Dados de projeto:			
Capacidade (kW):		Vazão em massa (kg/s):	
Temperatura de evaporação (^{o}C):		Temperatura de condensação (^{o}C):	
Diferencial de pressão (bar):			
Características:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Diâmetro nominal:		Max. pressão de trabalho (bar g):	
Fluido refrigerante:		Tensão (V):	
Tipo da válvula:	Manual:	Termostática:	Eletrônica
Dispositivos auxiliares (solenóides, sensores de pressão/temperatura, controles eletrônicos, etc.):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
		Data da revisão:	
Inspeção de campo:			
	(S)im/(N)ão	**Observações/recomendações**	
Aparência visual aceitável?			
A bobina atua corretamente?			
A válvula foi aberta p/ inspeção?			
O orifício estava desobstruído?			
Teste de estanqueidade das válvulas de bloqueio foi aprovado?			
Outros:			

Checklist de Inspeção		Válvula de bloqueio manual	
Data:	Hora:	Inspetor:	TAG:
Função da válvula:			
Localização da válvula:			
Dados de projeto:			
Capacidade (kW):		Vazão em massa (kg/s):	
Temperatura de operação (°C):		Pressão de operação (bar g):	
Diferencial de pressão (bar):			
Características:			
Fabricante/modelo:		Ano de fabricação:	
Diâmetro nominal:		Max. pressão de trabalho (bar g):	
Tipo da válvula:	Bloqueio	Retenção	
	Outro tipo	Descrever:	
Dispositivos auxiliares (solenóides, sensores de pressão/temperatura, controles eletrônicos, etc.):			
Serviços realizados na última revisão/manutenção:			
		Data da revisão:	
Inspeção de campo:			
	(S)im/(N)ão	Observações/recomendações	
Aparência visual aceitável?			
A válvula atua corretamente?			
A válvula foi aberta p/ inspeção?			
O orifício estava desobstruído?			
Teste de estanqueidade da válvula de bloqueio/retenção foi aprovado?			
Outros :			

Checklist de inspeção			Aspectos gerais da instalação
Data:	Hora:	Inspetor:	
Painéis elétricos:			
Instalação elétrica (cabos, eletrocalhas, isolamentos, etc.):			
Instalação hidráulica (tanque, tubulação, válvulas, bombas, etc.):			

Checklist de inspeção			Aspectos gerais da instalação
Data:	Hora:	Inspetor:	
Instalação hidráulica auxiliar (tubulação, válvulas, bombas, etc.):			
Sistema de ventilação e exaustão:			
Equipamentos de segurança:			
Instalação civil:			